

Đánh giá hư hỏng cho nhà khung bê tông cốt thép thấp tầng chịu động đất bằng đồ thị trạng thái phá hủy

Seismic vulnerability assessment of a low-rise reinforced concrete frame building by fragility curves

> TS. NGÔ VĂN THUYẾT

Khoa Công trình, Trường Đại học Thủy Lợi,
Email: thuyet.kcct@tlu.edu.vn, Tel: 0968092386

Tóm tắt:

Đồ thị trạng thái phá hủy là một công cụ hữu hiệu để đánh giá tổn thương cho kết cấu công trình chịu tác động động đất. Phương pháp sử dụng đồ thị trạng thái phá hủy để đánh giá hư hỏng cho công trình chịu động đất đã được thực hiện trong nhiều nghiên cứu trên thế giới, nhưng ở Việt Nam có rất ít nghiên cứu về đồ thị trạng thái phá hủy. Nhà khung bê tông cốt thép (BTCT) thường bị hư hỏng theo các mức độ khác nhau phụ thuộc vào độ lớn của trận động đất. Trong nghiên cứu này, đánh giá hư hỏng cho nhà khung BTCT thấp tầng chịu động đất bằng đồ thị trạng thái phá hủy được khảo sát bằng phân tích số. Kết quả phân tích cho thấy khi giá trị phổ chuyển vị tầng lên, xác suất để công trình bị hư hỏng ở các trạng thái phá hủy nhỏ là giảm đi, trong khi xác suất để công trình bị hư hỏng ở các trạng thái phá hủy lớn và phá hủy hoàn toàn là tăng lên.

Từ khóa: nhà khung BTCT, đồ thị trạng thái phá hủy, đánh giá hư hỏng, trạng thái hư hỏng.

Abstract:

Fragility curves provide a powerful solution tool for seismic vulnerability assessment of such structures. The use of fragility curves to evaluate the vulnerability assessment of a structure subjected to earthquakes was presented in some article researches in the world, however, it is few researches in Vietnam related the vulnerability assessment of a structure using fragility curves. Reinforced concrete (RC) frame buildings are often susceptible to damage in different damage states due to magnitude of earthquakes. In this paper, seismic vulnerability assessment of a

low-rise RC frame building using fragility curves is investigated by finite element analysis. The results show that the values of probability of exceeding slight damage states decrease, while the values of probability of exceeding extensive and collapse damage states increase with the increase in the spectral displacement.

Keywords: RC frame building, fragility curves, seismic vulnerability assessment, damage states.

1. Giới thiệu

Đánh giá hư hỏng cho công trình thông qua các trạng thái phá hủy là một việc làm cần thiết trong thiết kế công trình chịu tác động động đất. Công trình kết cấu nhà khung BTCT thấp tầng là kết cấu dân dụng phổ biến ở các nước đang phát triển như ở Việt Nam, Indonesia, Ấn Độ,... Khi các công trình này nằm trong khu vực có hoạt động địa chấn cao thì thường xuất hiện hư hỏng. Sự hư hỏng này ở các trạng thái khác nhau phụ thuộc vào độ lớn của các trận động đất. Do đó, nhận biết và đánh giá các trạng thái phá hủy của công trình nhà khung BTCT thấp tầng dưới tác động của một trận động đất là một việc làm cần thiết.

Đồ thị trạng thái phá hủy kết cấu là một công cụ hữu hiệu để đánh giá hư hỏng cho công trình chịu động đất. Theo [1], đồ thị trạng thái phá hủy cho một dạng kết cấu công trình là đồ thị biểu diễn các đường xác suất để đánh giá hư hỏng của công trình có vượt qua một trạng thái phá hủy cụ thể hay không, ứng với một thông số của động đất (có thể là phổ gia tốc, S_a hoặc phổ chuyển vị, S_d). Hàm phân phối chuẩn thường được sử dụng để xây dựng đồ thị trạng thái phá hủy cho một kết cấu. Để đơn giản và kinh tế, các đồ thị trạng thái phá hủy thường được xây dựng dựa trên phương pháp phân tích mô phỏng số công trình thông qua các phần mềm tính toán kết cấu.

Trên thế giới, đánh giá hư hỏng cho công trình chịu động đất bằng đồ thị trạng thái phá hủy đã được nghiên cứu trong hơn hai chục năm qua. Có một số nghiên cứu về xây dựng đồ thị trạng thái phá hủy cho công trình nhà khung bê tông cốt thép (BTCT) đã được thực hiện [2-5]. Tuy nhiên, sử dụng đồ thị trạng thái phá hủy để đánh giá hư hỏng cho công trình chịu động đất là đề tài nghiên cứu tương đối mới ở Việt Nam.

Nghiên cứu này trình bày đánh giá hư hỏng cho công trình nhà khung BTCT thấp tầng chịu động đất bằng đồ thị trạng thái phá hủy. Công trình được mô phỏng và phân tích tính phi tuyến thông

qua phần mềm SAP2000 v.15 [6]. Các trạng thái phá hủy của công trình được nhận biết dựa trên các trạng thái hư hỏng của khớp dẻo. Từ đó, đồ thị trạng thái phá hủy được xây dựng để đánh giá hư hỏng cho công trình.

2. Mô tả về công trình nghiên cứu

Một nhà dân dụng thấp tầng kết cấu khung BTCT chịu lực với các thông số về kích thước và vật liệu giả định được lựa chọn nghiên cứu. Công trình có ba tầng, kết cấu cột, dầm, sàn BTCT chịu lực. Công trình sử dụng bê tông cấp độ bền B20, cốt thép nhóm CI. Kích thước mặt cắt ngang dầm là 0.3x0.4 m, cột là 0.3x0.3 m và sàn dày 0.12 m. Khoảng cách nhịp theo các phương ngang đều là 4.0 m. Chiều cao mỗi tầng là 3.0 m. Tường 110 được xây bao xung quanh công trình. Mặt đứng và mặt bằng tầng điển hình của công trình được thể hiện trong hình 1.

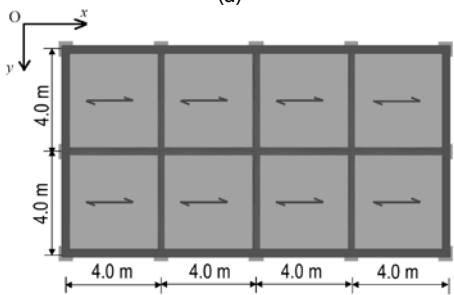
Cốt thép dọc trong cột đã đặt 8Ø14, trong dầm đặt 4Ø14 ở cả vùng kéo và vùng nén, chiều dày bảo vệ $a = 30$ mm. Cốt đai đặt Ø8s200. Bố trí cốt thép trong cột và dầm được thể hiện ở hình 2.

3. Mô hình công trình

Công trình được mô phỏng không gian 3D bằng hệ các phần tử thanh thông qua phần mềm SAP2000 v.15 [6] như trong hình 3. Các cột và dầm được mô hình bằng phần tử thanh có xét đến ứng xử phi tuyến bằng việc thiết lập các khớp dẻo. Trong khai báo khớp dẻo, mối quan hệ giữa lực và biến dạng của cấu kiện BTCT được mô hình theo [7] và có dạng như trong hình 4. Trong mô phỏng công trình, không mô hình sàn và tường gạch, coi tải trọng bản thân sàn, tường và các tải trọng tác dụng lên sàn, tường được tính toán và gán lên khung BTCT (dầm và cột). Tất cả các nút chân cột tầng 1 được gán liên kết ngàm cố định.

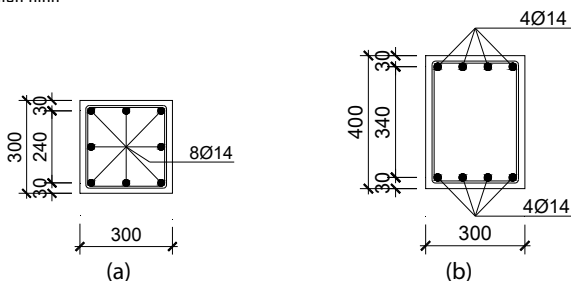


(a)



(b)

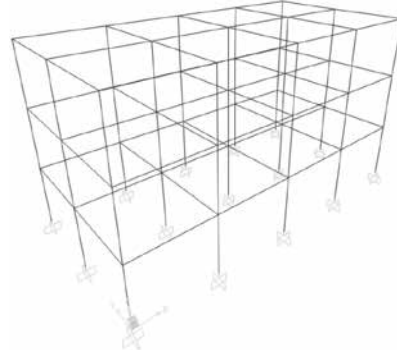
Hình 1. Công trình khung BTCT thấp tầng (a) Mặt đứng công trình và (b) Mặt bằng tầng điển hình



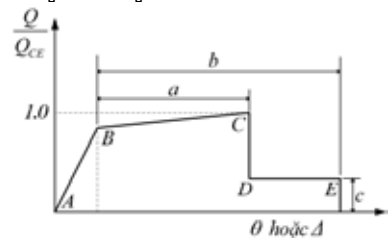
(a)

(b)

Hình 2. Bố trí cốt thép dọc trong các cấu kiện (a) Cột và (b) Dầm

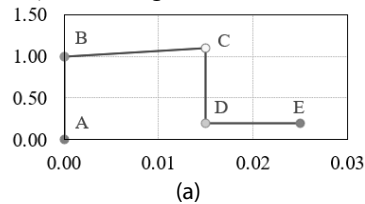


Hình 3. Mô hình công trình trong SAP2000

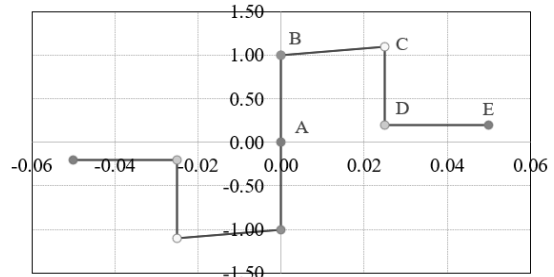


Hình 4. Mối quan hệ giữa lực và biến dạng của khớp dẻo của cấu kiện BTCT [7]

Trong hình 4, đoạn AB thể hiện sự làm việc của cấu kiện trong giai đoạn đàn hồi, đoạn BC thể hiện sự làm việc trong giai đoạn đàn dẻo do tăng cứng biến dạng hoặc giảm cứng biến dạng, đoạn CE thể hiện sự làm việc trong giai đoạn suy giảm cường độ. Trong đó, điểm A ứng với thời điểm ban đầu (chưa có tải). Điểm B ứng với thời điểm cấu kiện kết thúc ứng xử đàn hồi, bắt đầu chảy-dẻo. Biến dạng dẻo khi vượt qua điểm B sẽ được thể hiện bằng khớp dẻo. Điểm C ứng với thời điểm cuối cùng của chảy-dẻo. Điểm D ứng với cường độ còn lại sau khi chảy-dẻo. Điểm E là điểm phá hoại hoàn toàn (không còn khả năng chịu lực). Các giá trị a, b, c, d trong hình cũng được quy định cụ thể trong [7] đối với từng cấu kiện dầm, cột. Với các thông số hình học và vật liệu của công trình đã trình bày ở trên, thông số đầu vào mối quan hệ giữa lực và biến dạng của khớp dẻo của cột, dầm BTCT trong công trình được tính toán theo [7] có giá trị thể hiện như trong hình 5.



(a)



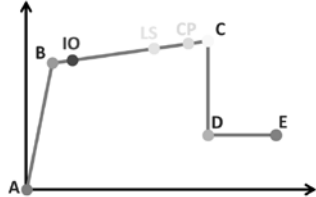
(b)

Hình 5. Thông số đầu vào mối quan hệ giữa lực và biến dạng của khớp dẻo của các cấu kiện (a) Cột và (b) Dầm

Tải trọng tác dụng lên hệ khung bao gồm tải trọng bản thân, tính tải sàn truyền vào khung, tải trọng tường gạch truyền vào khung và hoạt tải sàn truyền vào khung.

4. Nhận biết các trạng thái phá hủy của công trình

Để đánh giá hư hỏng cho công trình chịu động đất, các trạng thái phá hủy của công trình cần được định nghĩa và nhận biết. Để nhận biết mức độ hư hỏng của các cấu kiện BTCT, ngoài các điểm A, B, C, D và E trong mối quan hệ giữa lực và biến dạng của khớp dẻo như đã định nghĩa ở trên, còn phải lưu ý thêm 3 vị trí như trên hình 6: (1) mức tiếp tục sử dụng IO (Immediate Occupancy) - phá hủy nhỏ chưa xuất hiện nứt; (2) mức an toàn sinh mạng LS (Life Safety) - đã xuất hiện các vết nứt nhỏ và vừa; (3) mức ngăn ngừa sụp đổ CP (Collapse Prevention) - vết nứt mở rộng nhưng tổng thể công trình chưa phá hủy. Các giá trị IO, LS và CP cũng được qui định cụ thể trong [7].



Hình 6. Vị trí các hư hỏng trong khớp dẻo

Trên cơ sở đó, đối với công trình nhà khung BTCT thấp tầng, các trạng thái phá hủy của công trình được phân ra thành 5 loại:

- Trạng thái phá hủy 1 (Damage State 1, ký hiệu là DS1): chưa hư hỏng. Giới hạn của trạng thái phá hủy này là từ điểm A đến vị trí B;
- Trạng thái phá hủy 2 (Damage State 2, ký hiệu là DS2): hư hỏng nhỏ. Giới hạn của trạng thái phá hủy này là từ điểm B đến vị trí IO. Ranh giới giữa trạng thái phá hủy 1 và trạng thái phá hủy 2 ký hiệu là LS1 (Limit State 1);
- Trạng thái phá hủy 3 (DS3): hư hỏng vừa, từ vị trí IO đến vị trí LS;
- Trạng thái phá hủy 4 (DS4): hư hỏng lớn, từ vị trí LS đến vị trí CP;
- Trạng thái phá hủy 5 (DS5): hư hỏng hoàn toàn, vượt qua vị trí CP.

Ranh giới giữa các trạng thái phá hủy DS2, DS3, DS4 và DS5 ký hiệu lần lượt là LS2, LS3 và LS4.

Các trạng thái phá hủy này được nhận biết trực tiếp trên khớp dẻo thông qua phân tích tĩnh phi tuyến công trình sử dụng phần mềm SAP2000.

5. Phân tích và thảo luận kết quả

Đường cong khả năng của công trình thể hiện mối quan hệ giữa lực cắt ngang và chuyển vị mái được xác định thông qua phân tích tĩnh phi tuyến công trình. Các trạng thái phá hủy được xác định vị trí trên đường cong khả năng đó dựa trên nhận biết các trạng thái phá hủy khớp dẻo được trình bày trong phần 4 ở trên. Từ đó, đồ thị trạng thái phá hủy được xây dựng để đánh giá hư hỏng cho công trình chịu động đất.

5.1. Phân tích tĩnh phi tuyến công trình

Dựa vào kết cấu công trình, khả năng chịu lực ngang của công trình theo phương Y sẽ yếu hơn theo phương X. Do vậy, việc tính toán trong phần này sẽ chỉ phân tích theo phương Y.

Kết quả biến dạng công trình ở trạng thái phá hủy DS5 được thể hiện trong hình 7. Đường cong khả năng và vị trí các trạng thái phá hủy trên đường cong khả năng được thể hiện trong hình 8. Phần mềm SAP2000 có thể chuyển đổi từ đường cong khả năng ra mối quan hệ giữa phổ gia tốc và phổ chuyển vị của công trình theo [8] và được thể hiện trong hình 9.

5.2. Xây dựng đồ thị trạng thái phá hủy

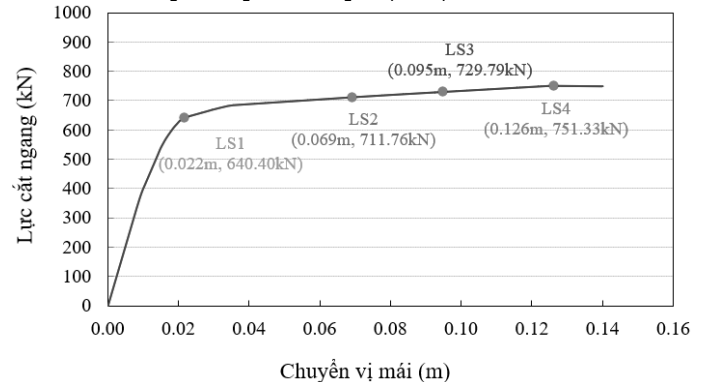
Theo [1], đồ thị trạng thái phá hủy được xác định thông qua hàm phân phối chuẩn của phổ chuyển vị cho bởi công thức sau:

$$P[DS|S_d] = \Phi\left(\frac{1}{\beta_{DS}} \ln\left(\frac{S_d}{S_{d,DS}}\right)\right) \tag{1}$$

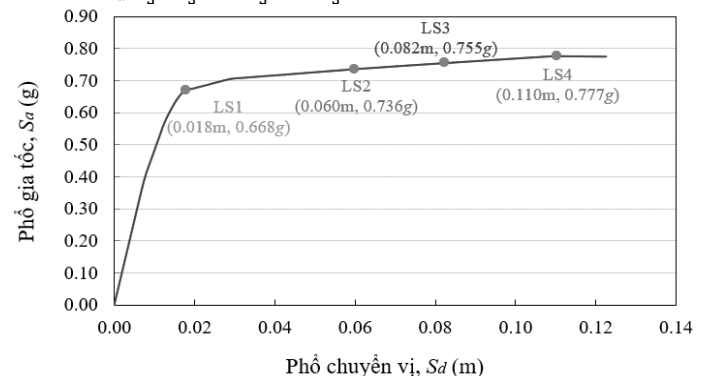
trong đó, $\Phi[.]$ là một hàm phân phối chuẩn; $S_{d,DS}$ là giá trị của ngưỡng phổ chuyển vị tại một trạng thái phá hủy nhất định; β_{DS} là độ lệch chuẩn của logarit tự nhiên của phổ chuyển vị ứng với trạng thái phá hủy đó. Trong nghiên cứu này, $S_{d,DS}$ được xác định trên hình 9; giá trị β_{DS} được lấy theo [1] cho công trình nhà khung BTCT thấp tầng; $\beta_{DS} = 0.75$ cho tất cả các trạng thái phá hủy. Đồ thị trạng thái phá hủy của công trình được thể hiện trong hình 10.



Hình 7. Biến dạng của công trình ở trạng thái phá hủy DS5



Hình 8. Đường cong khả năng của công trình



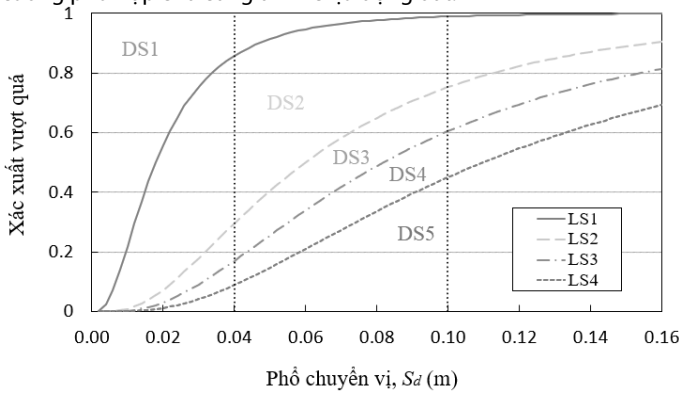
Hình 9. Quan hệ giữa phổ gia tốc và phổ chuyển vị công trình

5.3. Đánh giá hư hỏng cho công trình chịu động đất

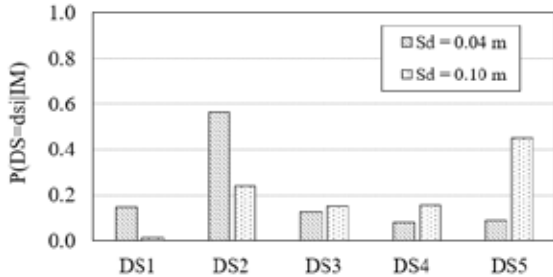
Đồ thị trạng thái phá hủy trên hình 10 là cơ sở để đánh giá hư hỏng cho công trình chịu động đất. Giả sử có một trận động đất gây ra phổ chuyển vị lớn nhất là $S_d = 0.04$ m (4 cm), xác suất để công trình hư hỏng ở trạng thái phá hủy DS1 là 14.4 %, ở trạng thái phá hủy DS2 là 56.2 %, ở trạng thái DS3 là 12.5 %, ở trạng thái DS4 là 8.1 % và ở trạng thái DS5 là 8.9 %. Các giá trị này chính là khoảng cách giữa các đường đồ thị trạng thái phá hủy trong Hình 10 tại vị

trí có phổ chuyển vị là 0.04 m. Tương tự như vậy, xác suất để công trình hư hỏng theo các trạng thái phá hủy DS1, DS2, DS3, DS4, DS5 khi có một trận động đất gây ra phổ chuyển vị lớn nhất $S_d = 0.10$ m lần lượt là 1.1 %, 23.7 %, 14.8 %, 15.5 %, 44.9 %. Phân phối xác suất theo mỗi trạng thái phá hủy ở các giá trị phổ chuyển vị bằng 0.04 m và 0.10 m được thể hiện trên hình 11.

Từ hình 11 cho thấy khi giá trị phổ chuyển vị tăng lên, xác suất để công trình hư hỏng ở các trạng thái phá hủy nhỏ (DS1, DS2) giảm đi, nhưng xác suất để công trình hư hỏng ở các trạng thái phá hủy lớn (DS4, DS5) tăng lên. Điều này chứng tỏ rằng khi phổ chuyển vị càng tăng lên thì công trình càng dễ bị hư hỏng và tiến tới trạng thái phá hủy hoàn toàn. Điều này hoàn toàn phù hợp trong đánh giá hư hỏng của công trình chịu động đất ngoài thực tế. Thông thường ngoài thực tế công trình chịu động đất được đánh giá hư hỏng một cách định tính thông qua thống kê các hư hỏng của công trình và cảm giác của con người có mặt trên công trình đó. Trong khi đó, nghiên cứu này cung cấp một phương pháp đánh giá hư hỏng cho công trình chịu động đất một cách định lượng thông qua đồ thị trạng thái phá hủy kết cấu. Đây là tiền đề để các nhà thiết kế phân tích/đánh giá một cách định lượng về hư hỏng cho công trình chịu động đất, từ đó đề ra các biện pháp gia cường phù hợp cho công trình chịu động đất.



Hình 10. Đồ thị trạng thái phá hủy của công trình



Hình 11. Phân phối xác suất theo các trạng thái phá hủy của công trình ứng với các giá trị phổ chuyển vị

6. Kết luận

Nghiên cứu này trình bày đánh giá hư hỏng cho công trình nhà khung BTCT thấp tầng chịu động đất bằng đồ thị trạng thái phá hủy. Công trình nhà dân dụng ba tầng kết cấu khung BTCT chịu lực được lựa chọn nghiên cứu. Công trình được mô hình bằng các phần tử thanh có xét đến ứng xử phi tuyến thông qua các khớp dẻo và được phân tích tính bằng phần mềm SAP2000. Đồ thị trạng thái phá hủy kết cấu được xây dựng trên một hàm phân phối chuẩn của phổ chuyển vị công trình. Kết quả nghiên cứu cho thấy khi giá trị phổ chuyển vị tăng lên, xác suất để công trình bị hư hỏng ở các trạng thái phá hủy nhỏ là giảm đi, trong khi đó xác suất để công trình hư hỏng ở các trạng thái phá hủy lớn và phá hủy hoàn toàn là tăng lên. Đồ thị trạng thái phá hủy là một công cụ

hữu hiệu để đánh giá về mặt định lượng hư hỏng của công trình chịu động đất ở các trạng thái phá hủy khác nhau.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] FEMA, 2003. *HAZUS-MH: Multi-hazard loss estimation methodology earthquake model*. Technical manual, Federal Emergency Management Agency, National Institute of Building Science. Washington DC, USA.
- [2] Lagomarsino, S., Giovinazzi, S., (2006). *Macroseismic and mechanical models for the vulnerability and damage assessment of current buildings*. Bull Earthquake Engineering, 4, 415-443.
- [3] Barbat, A.H., Pujades, L.G., Lantada, N., (2008). *Seismic damage evaluation in urban areas using the capacity spectrum method: Application to Barcelona*. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 28, 851-865.
- [4] Adhikary, S., Singh, Y., Lang, D.H., Kumar, R., (2015). *Effect of soil on seismic performance and vulnerability of RC frame buildings*. SEGED 2015 Conference: Earthquake Risk and Engineering towards a Resilient World, 9-10th July, Cambridge UK.
- [5] Surana, M., Singh, Y., Lang, D.H., (2018). *Effect of strong-column weak-beam design provision on the seismic fragility of RC frame buildings*. International Journal of Advanced Structural Engineering, 10, 131-141.
- [6] SAP2000 v.15, 2014. *Computers and Structures Inc., CSI Analysis Reference Manual*. Berkeley, California, USA.
- [7] FEMA-356, 2000. *Prestandard and commentary for the seismic rehabilitation of buildings*. Technical manual, Federal Emergency Management Agency, National Institute of Building Science. Washington DC, USA.
- [8] ATC-40, 1996. *Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings*. Applied Technology Council, Vol. I. Redwood City, CA, USA.